

**EFFECTOS DE SISMOS LEJANOS DE GRAN MAGNITUD  
SOBRE LOS EDIFICIOS DE GRAN ALTURA DE LA CIUDAD  
DE BUENOS AIRES. SU COMPARACION  
CON LA NORMA INPRES-CIRSOC 103\***

Ing. Juan S. CARMONA  
Académico de Número

Distinguidos Colegas Académicos:

Me es muy grato presentar el resultado acerca del estudio del efecto de sismos lejanos de gran magnitud sobre los edificios de gran altura de la Ciudad de Buenos Aires y su comparación con la norma INPRES-CIRSOC 103. Este es el resultado de estudios realizados en conjunto por la Doctora Nora C. Sabbione, de la Universidad Nacional de La Plata, con el suscripto, de la Universidad Nacional de San Juan.

En la imagen que aprecian se distingue la silueta de varios edificios multipisos del sector de Catalinas de esta Ciudad de Buenos Aires, en los que, por temblores debidos a sismos de la costa chilena de mediana magnitud que ocurrieron cerca del mediodía del 18 de junio de 2002 y el 20 de junio de 2003, se generaron alarmas entre sus ocupantes, que los desalojaron presurosamente y que llegaron a ser noticia periodística.

Es oportuno recordar que en las últimas décadas, en varias ocasiones, el movimiento ocasionado por los sismos distantes de gran magnitud ha sido nítidamente percibido en los pisos superiores de los edificios de mayor altura de la Ciudad de Buenos Aires, generando a veces gran alarma y aun pánico entre sus ocupantes que, incluso los evacuaron rápidamente. Es entonces oportuno realizar estimaciones acerca de la magnitud que pueden alcanzar estos movimientos para evaluar la seguridad de los edificios multipisos que cada día

\* Conferencia pronunciada en la Sesión Plenaria Ordinaria del 5 de mayo de 2008.

se construyen con alturas crecientes y comparar con los requerimientos que establece para la zona la norma sismoresistente INPRES-CIRSOC 103.



**Figura 1. Torre Le Parc  
(160 m de altura)**

que el fresco amanecer y alguna mirada atrevida, les recordó, en carne propia el exiguo atuendo que vestían”.

A continuación se presentan relatos acerca de la percepción del temblor de Caucete de 1977, debidos a investigadoras universitarias relacionadas con Ciencias de la Tierra. Uno que corresponde a la Prof. Graciela Font, de Gravitimetría de la Universidad Nacional de La Plata, que recuerda que: “En la casa,

La más recordada de las emergencias por temblor en las últimas décadas fue la causada por el sismo de Caucete, en San Juan, que el 23 de noviembre de 1977, a las 6.30, horas despertó y generó gran alarma en los ocupantes de los edificios multipisos. Así lo presentó el diario *La Nación* en su edición del día siguiente: “Por primera vez en su historia la Capital se enfrentó con la realidad de un sismo. El despertar progresivo y cotidiano de los porteños tuvo ayer matices singulares, tanto, que tal vez en la historia largamente secular de la Ciudad no se registró algo semejante. No fue pausado y paulatino, sino brusco, cortante, con ribetes de pánico. Es que ayer Buenos Aires conoció lo absolutamente ignorado. Aquello que parecía imposible en el liso tapiz de la llanura pampeana. Ayer salió de su letargo como sacudida por una mano gigantesca apremiante, que movió muebles, hizo oscilar lámparas, abrió o cerró bruscamente puertas y ventanas, hizo temblar el suelo bajo las plantas de desprevenidos peatones y lanzó a las calles a cientos de hombres, mujeres y niños a medio vestir y semidormidos, impulsados por un miedo ignorado, el que provocan las fuerzas de la naturaleza. La avenida 9 de Julio, cobijó a decenas de personas que habitan en las zonas adyacentes. Y así en todos los sectores de la Ciudad. En su prisa, algunas bellezas porteñas no repararon en que lucían excesivamente sus encantos personales, hasta

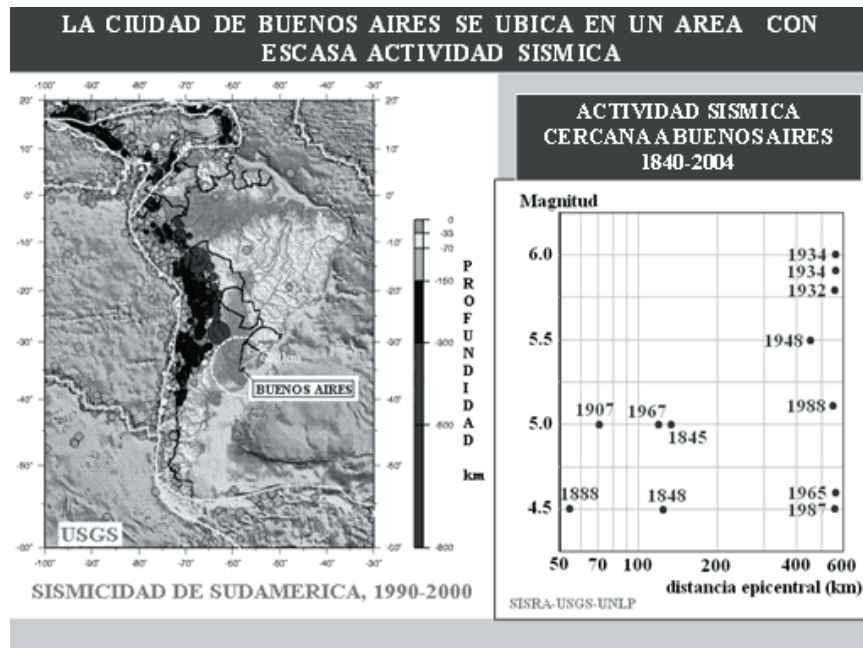
departamento de planta baja en el casco urbano de la Ciudad de La Plata, estaba leyendo el diario y experimentó la sensación de mareo, ya que hubo un movimiento relativo entre el diario y ella. Paralelamente, mientras le pasaba eso, en la cocina había puertas que daban al patio, corredizas, de metal y se sentía un golpeteo rítmico. Le hizo pensar que era un terremoto y lo descartó de plano, pero como la sensación con el diario y la puerta seguía, al cabo de un cierto tiempo (no puede estimar cuánto) se fue al dormitorio de su hijita, iluminado por un cable del cual pendía una pantalla de tela muy liviana y vio cómo la misma oscilaba de lado a lado”.

Otro, que corresponde a la Prof. Nora Sabbione, Catedrática de Sismología de la Universidad Nacional de La Plata, que recuerda que: “Vivía en un 7mo piso de un edificio de la Ciudad de La Plata. Estaba durmiendo y se despertó mareada. Lo más notorio es que a los pocos días, abrió un modular donde tenía un juego de copas de cristal, y dos de las de las más pequeñas se cayeron al suelo y se rompieron. En un primer momento no lo vinculó al sismo, luego, mientras trabajó con el sismo con el Ing. Gershanik, se dio cuenta que las copitas se habían desplazado dentro del modular y apoyado en la puerta a causa del mismo y por esa razón luego se cayeron”.

Otro antecedente acerca de la percepción de temblores, es el debido al gran sismo que afectó al Puerto Chileno de Valparaíso, el 17 de agosto de 1906. En el diario *Los Andes* de Mendoza, del 17 de agosto: “A las ocho y treinta de la noche del 16 – Temblor muy lento y prolongado y más fuerte que el de octubre de 1894. Muy fuerte en San Juan y se ha sentido en San Luis, La Rioja, Catamarca, Tucumán y Córdoba y hasta observarse en la misma Capital Federal. En Mendoza, salvo alguna que otra cornisa, no ha habido ningún daño ni víctima. Desde Puente del Inca desprendimientos de peñascos desde los cerros, ruidos subterráneos. En Buenos Aires ligeros movimientos”. El diario *Los Andes*, en su edición del día siguiente, del 18 de agosto de 1906, transcribe que: “En Las Cuevas todos los edificios con murallas de paredes macizas y que tienen un espesor de 60 cm han quedado agrietadas a consecuencia del temblor. El edificio del Correo amenaza derrumbarse. Derrumbamientos en el túnel internacional”. El diario *La Nación* de Buenos Aires, del 18 de agosto de 1906, decía: “En La Plata el fenómeno sísmico fue sentido en muchas partes. Las arañas, en algunas casas, se movieron suavemente pero nadie acertaba al principio con el origen de la débil ondulación. Para unos, era la presión del gas y donde hay alumbrado eléctrico lo imputaban a violencias de la corriente o bien a causas distintas de la que realmente tenía”.

De acuerdo a la historia sísmica y a los registros instrumentales, la Ciudad de Buenos Aires se ubica en un área con escasa actividad sísmica. Así, en el

mapa de Sudamérica preparado por el Servicio Geodésico de Estados Unidos, en el que está representada la actividad sísmica captada por los instrumentos entre 1990 y 2000, no aparecen epicentros de sismos con magnitud mayor que cinco dentro de una distancia menor a 600 km desde la Capital argentina. En la figura 2 se han ubicado las referencias técnicas histórico-instrumentales de la misma área, destacándose que el más cercano percibido en Buenos Aires, ocurrió en la noche del 5 a 6 de junio de 1888, con una intensidad cercana a 5 en la Escala Mercalli, que fue generado por un sismo superficial con área sustentada en el Delta del Paraná, de magnitud estimada en 4,5. Los sismos de magnitud cercana a 6 se han localizado a distancias mayores a los 500 km.



**Figura 2**

Recordando que en los edificios multipisos de Buenos Aires se han percibido más frecuentemente los efectos de sismos lejanos de gran magnitud, en este mapa (Figura 3) se han ubicado sismos destacados con magnitud mayor que 7 y epicentro en territorio argentino; con magnitud mayor que 8, que se localizaron en territorio chileno. Entre los primeros se destaca, por la magnitud de

7,7, el ocurrido el 27 de octubre de 1894, con área epicentral en el noroeste de la Provincia de San Juan, y el de magnitud 7,4, del citado 23 de noviembre de 1977, en la Ciudad de Caucete. De los sismos del Litoral Chileno, el de mayor magnitud, con 9,5, es el gigantesco del 22 de mayo de 1960, y por su menor distancia epicentral a Buenos Aires, el ya citado del 17 de agosto de 1906, que ocasionó severos daños y víctimas en el Puerto de Valparaíso.

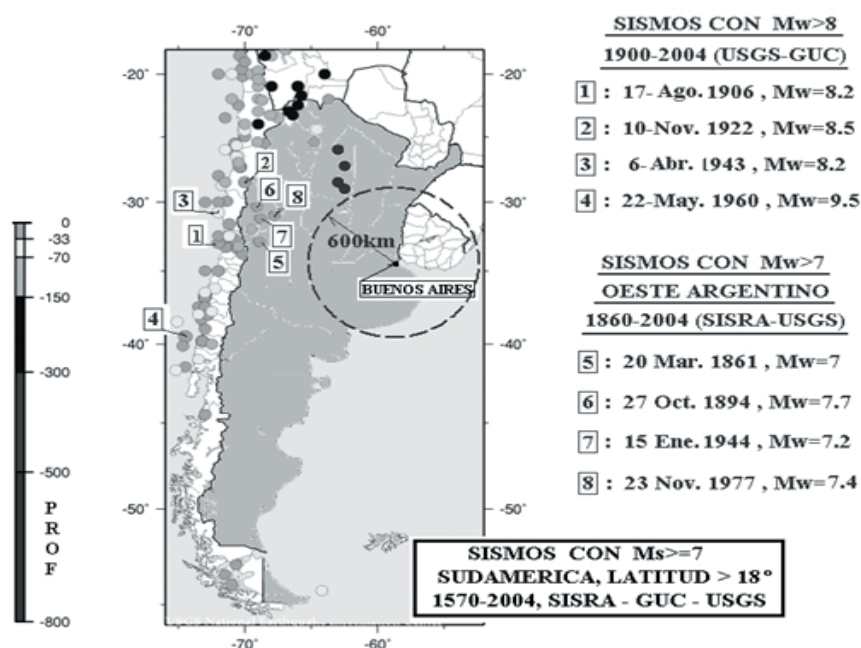


Figura 3

Para el estudio del comportamiento de los edificios altos de Buenos Aires por efecto de los sismos distantes, se han analizado las aceleraciones registradas por un sismógrafo de banda ancha, ubicado en la casi centenaria Estación Sismológica de la Universidad Nacional de La Plata, que está ubicada en su Observatorio Astronómico, y que es conocida en la red mundial por sus siglas "LPA". Esta estación sismológica dista casi 50 km de la Ciudad de Buenos Aires y ambos terrenos son sedimentos cuaternarios de casi 500 m de espesor. El instrumento está en operación desde 1996 y es un sismógrafo de banda ancha

modelo PDAS 100, fabricado por Geotech Teledyne, y sus sensores son acelerómetros modelo BB13 con convertidor digital de la señal a 16/19 bits y registro continuo a 10 muestras por segundo. Es oportuno destacar que por el ruido sísmico ambiental en donde está ubicado, el instrumento opera con amplificación reducida, lo que facilita captar los movimientos que se desean analizar en este estudio. Por otra parte, en el muestreo de 10 muestras por segundo, el convertidor es sensiblemente menor que en las 100 por segundo de los acelerómetros por umbral de disparo empleados en Ingeniería Sismorresistente, pero adecuado para el presente estudio, teniendo en cuenta los períodos de los edificios de las ondas de sismos lejanos en tal tipo de terrenos.

Con el citado instrumental, en la Estación Sismológica de La Plata se han captado, desde su puesta en operación en 1996, un conjunto de acelerogramas de distintos eventos sísmicos, entre los cuales están los que tuvieron sus áreas epicentrales en destinos de interés para el presente estudio. En la figura 4 están ubicados los sismos según su magnitud y su distancia epicentral, a los que corresponden los acelerogramas captados en La Plata. Se destaca que hasta 200 km desde La Plata, no se captó ningún acelerograma de sismo de magnitud mayor que 5, y que de los acelerogramas captados de los sismos ocurridos en el Oeste Argentino, su magnitud no superó el valor de 5,5, que es casi dos unidades de magnitud menor que el de Cauçete de 1977. Además de los acelerogramas de sismos del Litoral Chileno, su magnitud superó el valor de 7,1, que es significativamente menor que la de 8,2 a 8,5 de los destacados sismos de 1906 y 1922 y sólo se contó el acelerograma del sismo de gran magnitud de 8,3 que ocurrió en el Litoral Peruano, a algo más de 2.000 km de distancia epicentral desde La Plata. Esto pone en evidencia que el conjunto de acelerogramas captados corresponden a sismos de magnitud superior a los valores máximos esperables de cada región, con influencia sobre los edificios multipisos de Buenos Aires.

La información de los eventos sísmicos presentados en la figura anterior ha sido también empleada para preparar la figura 5. En ella están representados para cada sismo, los valores de la aceleración máxima captada en la Estación Sismológica La Plata y su distancia epicentral desde esta Estación. Para la aceleración máxima la unidad es el gal, 10 cm sobre segundo al cuadrado, equivalente a casi un milésimo de la gravedad, mientras que el km es la empleada para la distancia epicentral. Las escalas del gráfico son logarítmicas y la mayor aceleración captada en La Plata, ha sido 0,75 gal, que es inferior al milésimo de la gravedad. Si se focaliza la variación de la aceleración máxima con la distancia epicentral para evento de magnitud se obtienen los primeros indicios de

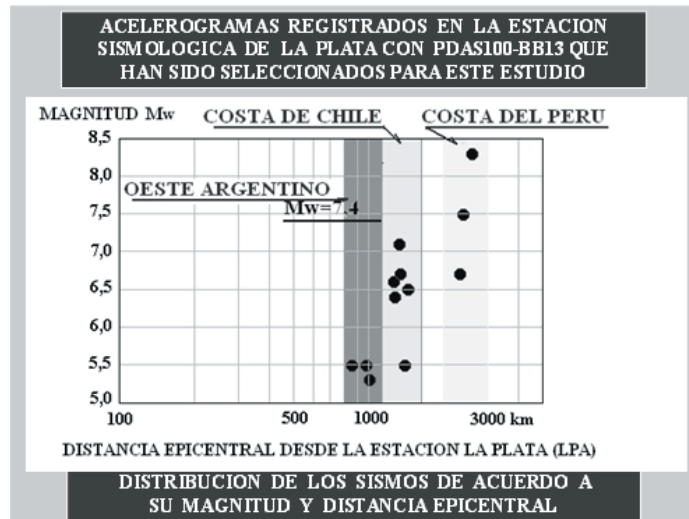


Figura 4

la atenuación de la aceleración máxima en La Plata por efecto de la distancia epicentral, por ejemplo para los sismos de magnitud superior a seis.

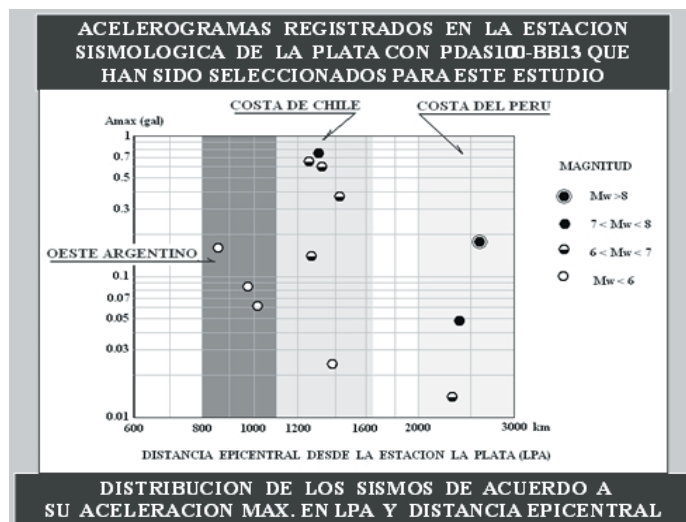
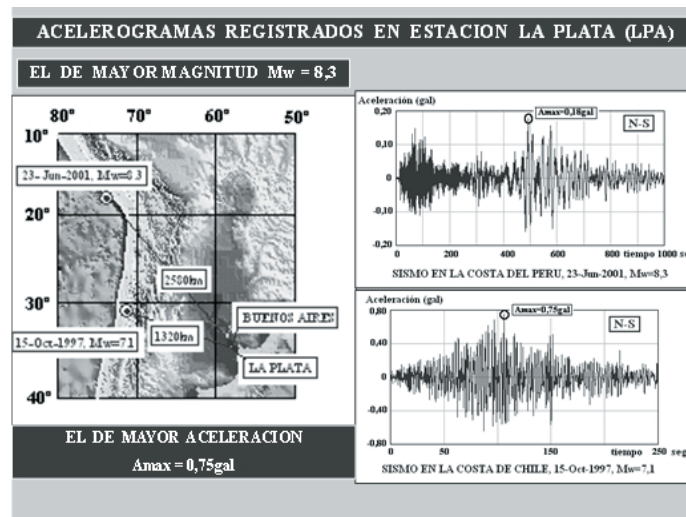


Figura 5

Se presentan en la Figura 6 dos más destacados acelerogramas captados en la Estación Sismológica de La Plata. Estos son el de mayor aceleración y el de mayor magnitud. El de mayor aceleración, con 0,75 gal, es la componente norte-sur del correspondiente al sismo del 15 de octubre de 1997, con magnitud 7,1, que se localizó en territorio chileno a 1.320 km de distancia epicentral desde La Plata, y que ocasionó víctimas y daños en Punitaco; mientras que el de mayor magnitud, con 8,3, es el gran sismo del Litoral Peruano del 23 de junio de 2001, a 2.580 km de La Plata y cuya componente norte-sur alcanzó a 0,18 gal de aceleración máxima, que es sólo un cuarto del sismo chileno, lo cual confirma que de los sismos de gran magnitud, los de Chile causan los mayores efectos en la Ciudad de Buenos Aires. En el acelerograma inferior de la figura, que es el correspondiente al sismo chileno, se observa que, desde que se supera la mitad del valor máximo hasta que éste ya no se repite, han transcurrido casi 90 segundos, intervalo que si lo asimilamos a una medida de la duración del movimiento más intenso, muestra su permanencia y, como tal, cómo se genera el pánico. En el acelerograma correspondiente al sismo peruano se observa que a partir de los 250 segundos se presentan las ondas de muy largo período, de 20 segundos, que no influye en la respuesta a los edificios multipisos, y que la primera parte, en cambio, transcurre en casi 85 segundos desde que se supera la mitad del valor máximo hasta que éste ya no se repite.



**Figura 6**

El contenido de las frecuencias presentes en los acelerogramas captados en La Plata es el primer indicio acerca de las particularidades de los movimientos que excitan a los edificios multipisos (Figura 7). A tal efecto, se han evaluado las aptitudes de sus Transformadas de Fourier y luego se las ha suavizado mediante un promedio móvil, de modo de resaltar las aptitudes correspondientes a las frecuencias predominantes. En la figura se presentan los resultados obtenidos para cuatro acelerogramas muy significativos que son: el debido al sismo de Perú de 2001, de gran magnitud y gran distancia epicentral, dos originados por sismos del litoral chileno de magnitudes muy parecidas, que son de 7,1 para el de 1997, y 6,7 para el del 2003, y uno, por último, muy cercano, de magnitud 5,5 que ocurrió en el 2004 en la provincia de San Luis. En todas sus Transformadas de Fourier se destacan las aptitudes correspondientes a las frecuencias 0,38 y 0,82 hertz, siendo sus respectivos períodos 2,63 y 1,22 segundos. Además, se detecta que los valores relativos entre las aptitudes varían sensiblemente según la magnitud del sismo a que corresponda. Son mayores las de 2,63 segundos con respecto a las de 1,22 segundos, para las magnitudes que superan el valor 6,5, mientras que para las menores magnitudes, como el de San Luis, se presenta en forma inversa, que son mayores para 1,22 segundos con respecto a la de 2,63 segundos. La presencia de estos períodos dominantes es evidencia del comportamiento de los potentes y extensos mantos aluvionales de la Pampa Argentina, mientras que las variaciones de sus aptitudes relativas son el resultado de las rupturas según las magnitudes y de las propiedades de transmisibilidad de la corteza en la que se localizan sus trayectorias.

Para estimar las máximas aceleraciones que ocurrirían en La Plata por efecto de los sismos de gran magnitud que se localizaren en el Litoral Chileno o en el Oeste Argentino, se ha adaptado una función de atenuación de la aceleración máxima con la distancia epicentral para sismos de distinta magnitud (Figura 8). La función de atenuación empleada es del tipo de la aplicada en otros estudios similares, en la que sus coeficientes se han ajustado por mínimos cuadrados a los valores registrados de aceleración máxima en La Plata y sus respectivas magnitudes y distancia epicentral, siendo la ecuación resultante la que figura a continuación. En esta figura también están indicados los valores registrados. Por el valor del error medio cuadrático, EMC, de la correlación se considera aceptable el resultado obtenido. No obstante que es limitada la cantidad de eventos causados hasta la fecha. Por considerar que son semejantes los estratos de terrenos sobre los que se ubican las ciudades de La Plata y Buenos Aires y por ser su distancia relativamente pequeña con respecto a la distancia epicentral a los sismos de Cuyo y del Litoral Chileno, se asumirá



Figura 7

que esta ecuación de atenuación de la aceleración máxima por efecto de sismos distantes, es también aplicable a la Ciudad de Buenos Aires.

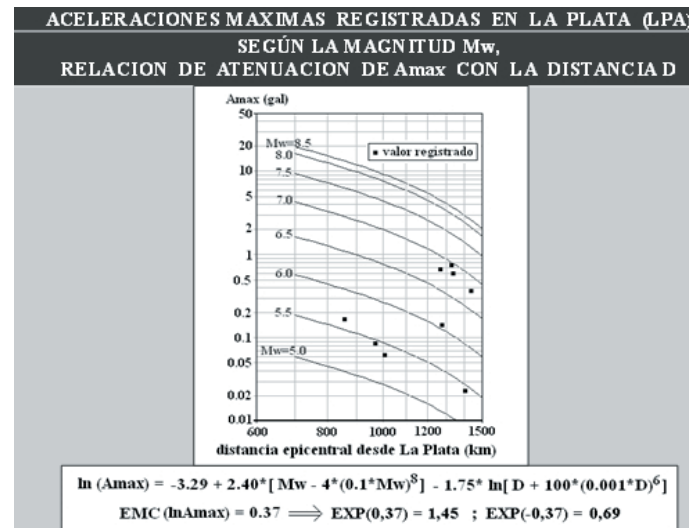


Figura 8

La ecuación de atenuación de la aceleración máxima en La Plata o en Buenos Aires desarrollada precedentemente, permite estimar los valores que corresponderían a los sismos distantes de gran magnitud como el de Valparaíso de 1906 y los de San Juan de 1894 y 1977. En la tabla (Figura 9) se han calculado estos valores de aceleración máxima a nivel del terreno en Buenos Aires, que, por la distancia epicentral y la magnitud, le corresponderían a los sismos de Mendoza en 1861, de San Juan en 1894, de Valparaíso en 1906, y de San Juan en 1977, obteniéndose en gal los valores de 2,3; 4; 3,9 y 4,2, respectivamente. Estos tres últimos son aproximadamente cinco veces mayor del máximo valor de aceleración captada en 1997 de 0,75 gal. Por otra parte, de la experiencia en San Juan, las aceleraciones máximas de ondas sísmicas de períodos cercanos a 1 segundo, se puede enunciar que si la aceleración máxima es superior a 2 gal, los habitantes no perciben el movimiento; hay una ligera percepción de mareos si la aceleración máxima está entre 2 y 4 gal, y es bien percibida y causa cierta alarma si supera los 10 gal, que es aproximadamente el 1% de la aceleración de la gravedad. En la última columna de esta tabla se han destacado las percepciones a nivel del terreno en la Ciudad de Buenos Aires, que resultan de revisar las informaciones periodísticas de cada época. Por cierto que estas son concordantes con las evaluaciones de la aceleración resultantes de la aplicación de las curvas de atenuación desarrolladas precedentemente, y se concluye que con el análisis de la información disponible a la fecha, las aceleraciones máximas a nivel del terreno de la Ciudad de Buenos Aires, por efecto de los sismos distantes de gran magnitud, como los analizados en esta tabla, han alcanzado el valor de 4 gal, que es solo el 2,5% del que se captó en la Provincia de San Juan, en el sismo de Caucete de 1977.

De los acelerogramas de sismos distantes captados en la Estación Sismológica de La Plata, se han mostrado hasta el momento los resultados del análisis de sus contenidos de frecuencia, obteniéndose que se presenta el período dominante de 2,63 y 1,23 segundos. Sin embargo es necesario para la Ingeniería disponer de los efectos de respuesta a la aceleración para evaluar el efecto sísmico en las construcciones. Con tal propósito, en este gráfico (Figura 10) se presentan las curvas 2% de amortiguación, de aceleración espectral en los acelerogramas Norte-Sur citados precedentemente, a los que se ha aplicado una suavización mediante el promedio móvil de 0,1 segundos. Teniendo en cuenta que los períodos dominantes de estos acelerogramas son los citados de 1,23 y 2,63 segundos, y que el intervalo de muestreo con que han sido captados los acelerogramas es de 0,1 segundo, se ha seleccionado el intervalo entre 0,5 y 4 segundos para las curvas espectrales de la figura. Por otra parte, la amortiguación seleccionada

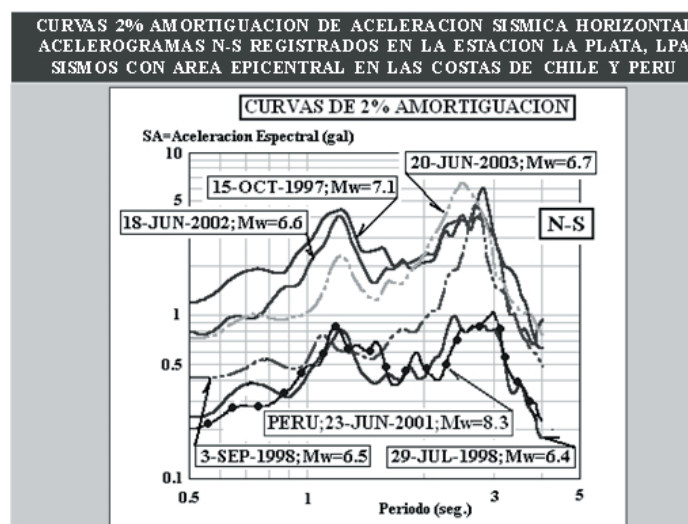
ACELERACIONES MAX. A NIVEL DE TERRENO DE BUENOS AIRES POR EFECTO DE SISMOS DISTANTES DE GRAN MAGNITUD					
INFORMACIONES PERIODISTICAS ACERCA DE SU PERCEPCION Y VALORES ESTIMADOS POR LA RELACION DE ATENUACION					
FECHA SISMO	AREA EPICENTRAL	Dist.(km) Buenos Aires	Mw	Amax(COR) (gal)	PERCEPCION NIVEL TERRENO
20-03-1861	Ciudad Mendoza	960	7	2,3	No percibido
27-10-1894	NO-San Juan	1150	7,7	4,0	Leve-Mareos
17-08-1906	Valparaiso - Chile	1300	8,2	3,9	Leve-Mareos
23-11-1977	Caucete - San Juan	970	7,4	4,2	Leve-Mareos
15-10-1997	Chile central	1320 (La Plata)	7,1	0,75(registro)	No percibido

PERCEPCION DE LAS ONDAS SISMICAS CON  $T > 1\text{sec.}$   
 $A_{\text{max}} < 2\text{ gal}$  : NO PERCIBIDO  
 $A_{\text{max}} = 2 - 4\text{ gal}$  : LIGERA PERCEPCION - MAREOS  
 $A_{\text{max}} > 10\text{gal}$  : BIEN PERCIBIDO Y CON ALARMA

Figura 9

requiere del 5% que el actual en Ingeniería, teniendo en cuenta que por las relativamente bajas amplitudes de la aceleración de los edificios multipisos, no se desarrollan amortiguaciones equivalentes o superiores al 2%. Se observan que todas estas curvas presentan aspectos semejantes, mostrando valores dominantes en coincidencia con los períodos citados de 1,23 y 2,63 segundos, y que esos valores dominantes son no menos de 5 veces la aceleración máxima de cada acelerograma.

Los análisis precedentes (Figura 11) han mostrado que en los acelerogramas captados en La Plata por efecto de sismos distantes, siempre se presentan ondas con períodos dominantes de 1,22 y 2,63 segundos. Además, las curvas de respuesta espectral de 2% en la aceleración, se presentan con aspectos muy semejantes a los sismos de mayor magnitud. Por otra parte, del análisis de la atenuación de la aceleración máxima captada en La Plata, con la distancia epicentral y de su vinculación con la descripción de la percepción a nivel del terreno de los temblores, se ha estimado que los correspondientes a los sismos de Chile de 1906 y de San Juan de 1894 y 1907, alcanzaron una aceleración máxima a nivel del terreno en Buenos Aires cercano al valor de 4 grados. Con estas consideraciones, para estimar las probables curvas de respuesta espectral de 2% en aceleración en Buenos Aires por efecto de sismos como el de San Juan de 1977, se han amplificado convenientemente los de los sismos de mayor magnitud captados en la Estación Sismológica de La Plata. Así, para



**Figura 10**

la del sismo chileno del 15 de octubre de 1997, se la amplificó por el factor 5,2 para que corresponda a la aceleración máxima horizontal de 4 gal, y con igual propósito, la del sismo peruano del 23 de junio de 2001 se la amplificó por el factor 26. Estas dos curvas están graficadas en la figura en la que se aprecian sus semejanzas. Finalmente, se las ha promediado para obtener lo que sería la correspondiente al sismo de San Juan de 1977, para el nivel del terreno en la Ciudad de Buenos Aires. Se observan las importantes amplificaciones en las respuestas para los citados períodos de 1,22 y 2,63 segundos, que alcanza a 20 y a casi 30 gal respectivamente. En la parte inferior de la figura, están representados los períodos fundamentales de vibración, medidos en edificios de gran altura de Buenos Aires. Por cierto que en estos períodos de aceleración horizontal en estos edificios, se ha producido la respuesta con mayor amplificación, lo que justifica la gran alarma de sus habitantes en la ocurrencia de estos eventos, en particular en sus pisos superiores.

La curva espectral de la placa anterior corresponde al 2% de amortiguación, con igual metodología se ha preparado la curva 5% de amortiguación para el efecto en Buenos Aires del sismo de Cauçete de 1977. Este valor de amortiguación (Figura 12) es el usual empleado en Ingeniería, para este valor son las curvas espectrales que requiere la norma INPRES-CIRSOC 103. En



**Figura 11**

la Figura está representada la curva que define este norma para la Ciudad de Buenos Aires asumiendo construcción normal del grupo B y solo intermedio tipo 2, en cuyo caso la ordenada de origen tiene el valor del 4% a la aceleración de la gravedad que es casi 10 veces mayor que la aceleración máxima de 4 estimada para los sismos de gran magnitud como el de Cauçete en 1977 o el de Valparaíso de 1906. Así, la curva 5 % amortiguación estimada para el efecto de estos sismos en Buenos Aires es bastante menor, no menos de cinco veces del requerimiento INPRES-CIRSOC 103 para los edificios de mayor altura de la ciudad de Buenos Aires.



**Figura 12**

Muchas gracias por su atención.